Aus dem Physiologischen Institut
der Universität Breslau
(Direktor: Professor Dr. Winterstein)

Untersuchungen über objektive und subjektive Ermüdung bei willkürlichen Kontraktionen

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der Medizin und Chirurgie bei der Hohen Medizinischen Fakultät der Schlesischen Friedrich-Wilhelm-Universität zu Breslau

vorgelegt von

Erwin Haas

Breslau 1929

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät
der Universität Breslau

---

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Wachholder
2. Berichterstatter: Prof. Dr. Winterstein

R. UNIV
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548206_0050

(Aus dem Physiologischen Institut der Universität Breslau.)

Untersuchungen über objektive und subjektive Ermüdung bei willkürlichen Kontraktionen.

Von

Erwin Haas.

(*Eingegangen am 8. August 1927.*)

Der Versuch, aus den Veränderungen des Aktionsstrombildes während der willkürlichen Muskelkontraktion eine Klärung für das Problem der Ermüdung zu finden, ist schon mehrfach unternommen worden.

Als erster hat *Piper*[1] die Aktionsströme der Unterarmflexoren untersucht, während die Vp. ein Dynamometer bis zur völligen Ermüdung zusammendrückte. Dabei konnte er im Verlauf der Ermüdung stets eine Abnahme der Frequenz der Ströme nachweisen. Die einzelnen Ströme hatten eine kleinere Amplitude als vor der Ermüdung, erschienen gedehnt, und es waren viele Nebenwellen superponiert. Diese Veränderungen im Aktionsstrombild faßte *Piper* als Ausdruck für ein Asynchronwerden der zentralen Impulse auf. Außerdem fand er, daß auch bei hochgradiger Ermüdung streckenweise glatte biphasische Ströme von gleicher Frequenz und Größe auftreten konnten wie vor der Ermüdung. Entgegen *Pipers* Anschauung fanden *Cobb* und *Forbes*[2] bei im übrigen gleicher Versuchsanordnung bei Eintreten der Ermüdung regelmäßig ein Ansteigen der Amplitude bis auf das Doppelte ihrer Anfangsgröße, während sie die von *Piper* angegebene Frequenzabnahme bestätigten. Das Ausbleiben des Amplitudenanstieges bei den Piperschen Versuchen führten sie darauf zurück, daß die Vp. mit zunehmender Ermüdung vermutlich mit geringerer Kraft das Dynamometer gedrückt hätten. Eine Klärung des Widerspruches brachte *Altenburger*[3] insofern, als er zeigen konnte, daß es von großer Bedeutung für das resultierende Aktionsstrombild ist, ob die Ermüdung bei starker Beanspruchung sehr rasch nach wenigen Minuten erfolgt oder bei relativ geringer Belastung erst nach $^1/_4$ Stunde oder später. Im ersteren Fall fand er ebenso wie *Cobb* und *Forbes* einen deutlichen Amplitudenanstieg der Hauptwellen und dabei eine geringe Frequenzabnahme der superponierten Nebenzacken. Im 2. Fall dagegen konnte er feststellen, daß eine Verstärkung der Ströme ausblieb, ja daß die Amplitude sogar eine Verminderung erfuhr.

Die Frage, wodurch es denn im erstgenannten Fall, also bei rascher Ermüdung infolge starker Beanspruchung des Muskels, zu der merkwürdigen Amplitudenverstärkung kommt, hat *Altenburger* nicht weiter verfolgt. Sie zu klären, ist Zweck der vorliegenden Untersuchungen.

[1] *Piper*, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1913 und 1914.

[2] *Cobb* und *Forbes*, Americ. journ. of physiol. **65**, S. 234.

[3] *Altenburger*, Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. **202**, 645, 1924.

Außerdem sollte festgestellt werden, ob zwischen dieser Veränderung des Aktionsstrombildes als unter bestimmten Bedingungen regelmäßig sich einstellender objektiver Ermüdungserscheinung und zwischen dem Auftreten subjektiver Ermüdung feste Beziehungen bestehen oder nicht. Hat doch *Durig* im Atzlerschen Handbuch der Arbeitsphysiologie kürzlich gezeigt, daß die Beziehungen zwischen subjektiver und objektiver Ermüdung von größter praktischer Bedeutung sind. Leider liegen jedoch bisher sehr wenig experimentelle Grundlagen darüber vor. Für diese Arbeit kommt lediglich die Feststellung *Altenburgers* in Frage, daß bei unbeeinflußten Vp. das subjektive Ermüdungsgefühl stets wesentlich früher auftritt als die ersten in der Aktionsstromkurve sichtbaren Veränderungen.

I. Die Veränderungen der Aktionsstromgröße bei der Ermüdung.

a) Vergrößerung der Aktionsströme bei rascher Ermüdung.

Die bei rasch zunehmender Ermüdung zu beobachtende Vergrößerung der registrierten Aktionsstromschwankungen kann verschiedene Ursachen haben. Erstens ist zu beweisen, daß ihr überhaupt eine Verstärkung der elektrischen Potentialdifferenz zugrunde liegt und daß diese nicht anderweitig vorgetäuscht wird. Letzteres ist nämlich dadurch möglich, daß das Saitengalvanometer, wie *Davis* und *Brunswick*[1] und *Fulton*[2] zeigten, bei sehr kurz dauernden Stromstößen wie ein ballistisches Galvanometer reagiert, d. h. es gibt bei gleich starken Stromstößen einen um so größeren Ausschlag, je länger die Stromstöße dauern. Infolgedessen ist zu bedenken, ob nicht die beobachtete Amplitudenvergrößerung lediglich durch eine Verlängerung der Dauer der Stromstöße mit zunehmender Ermüdung bedingt ist. Diese Möglichkeit ist um so mehr zu erwägen, als ja in der Tat bei extremer Ermüdung eine Dehnung der einzelnen Stromschwankungen zu beobachten ist (*Piper*). Weiterhin spricht dafür, daß die fragliche Amplitudenvergrößerung beim Arbeiten mit schlaffer, träge reagierender Saite ganz besonders auffällig ist. Trotzdem scheint sie uns zumindest nur zum kleinen Teil auf diese Weise erklärbar zu sein. Nach *Davis* und *Brunswick* ist nämlich bei ganz kurz dauernden Stromstößen die Größe der Saitenschwankung der Stromdauer proportional. Daher müßte sich auch bei der hier beobachteten, teilweise weit mehr als 100proz., Amplitudenerhöhung die Dauer der Stromstöße mindestens verdoppelt haben. Eine solche Verlängerung der Dauer der Einzelströme würde sich aber unbedingt in einer Abnahme der Frequenz oder wenigstens in einer stärkeren Superposition der Einzelzacken bemerkbar machen. Die Ver-

[1] *Davis* und *Brunswick*, Americ. journ. of physiol. **75**, 511. 1926.
[2] *Fulton*, Muscular contraction. London 1926, Abb. 89, S. 239.

größerung der Amplitude tritt jedoch ein, lange bevor solche Veränderungen nachweisbar sind. Ferner erscheint beachtenswert, daß bei bis zu hochgradiger Ermüdung fortgesetzter Reizung des motorischen Nerven bzw. des Muskels selbst, trotz allmählich sich einstellender Dehnung der einzelnen Ströme, stets nur eine Abnahme ihrer Amplitude beobachtet wurde (*von Brücke*[1], *Beritoff*[2], *Fulton*[3]). Aus alledem geht wohl hervor, daß die fragliche Amplitudenvergrößerung wenn überhaupt, dann nur zum kleinsten Teile durch eine Verlängerung der Dauer der Ströme verursacht sein kann.

Von anderen mehr technischen Faktoren, welche eine Vergrößerung der abgeleiteten Ströme verursachen können, ist nach *Fulton*[4] an eine Änderung der Länge der Muskelfasern und bei Verkürzung gefiedert gebauter Muskeln an eine Änderung der elektrischen Achse der Fasern im Verhältnis zur Ableitung zu denken. Beides kommt darum nicht in Frage, weil die Amplitudenzunahme bei rein statischer Beanspruchung ohne Bewegung beobachtet wurde. Auch eine Veränderung des Widerstandes im Ableitungskreise, kommt, wie schon *Cobb* und *Forbes* experimentell nachgewiesen haben, nicht als Ursache für die Verstärkung der Ströme während der Ermüdung in Betracht. Nach dieser Ausschaltung technisch bedingter Täuschungsmöglichkeiten kann man wohl sagen, daß der fraglichen Amplitudenvergrößerung tatsächlich ein *Stärkerwerden der elektrischen Potentialdifferenz zwischen den beiden Ableitungsstellen* zugrunde liegt. Es fragt sich nunmehr, wovon dieses herrührt. Daß die *Ermüdung der Muskelfaser* selbst eine Amplitudenerhöhung nicht hervorrufen kann, geht schon daraus hervor, daß, wie oben hervorgehoben, bei künstlicher Reizung des Muskels stets nur eine Amplitudenabnahme beobachtet wurde. Daraus ergibt sich, daß eine Verstärkung der Ströme nur durch eine *Veränderung der Innervation des Muskels* bedingt sein kann. Hier scheinen uns folgende zwei Möglichkeiten vorzuliegen, und zwar zunächst a) ein *Synchronwerden der Tätigkeit der einzelnen Muskelfasern bei gleichbleibender Gesamtstärke der Tätigkeit.*

In einer früheren Arbeit[5], in der das Verhalten der Aktionsströme beim Tragen verschieden schwerer Gewichte, jedoch unter Vermeidung einer Ermüdung, untersucht wurde, konnte gezeigt werden, daß ein plötzliches Größerwerden der Amplitude in dem Augenblicke einsetzte, in dem die einzelnen Muskelfasern, die bei kleiner Belastung alternierend tätig waren, synchron zu arbeiten begannen. Um zu unter-

[1] *E. Th. v. Brücke*, Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. **124**, 215. 1908.
[2] *Beritoff*, Zeitschr. f. Biol. **82**, 119. 1924.
[3] l. c. S. 229.
[4] l. c. S. 204.
[5] *Haas*, Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. **212**, 651. 1925.

suchen, ob diese zunehmende Synchronität der Fasertätigkeit auch bei der durch gleichbleibende Beanspruchung hervorgerufenen Ermüdung die Amplitudenzunahme bedingt, wurden folgende Versuche unternommen:

Die Herbeiführung der Ermüdung erfolgte durch Belastung des rechtwinkelig gebeugten Unterarmes, indem am Handgelenk ein Gewicht angehängt wurde. Die Hand befand sich dabei in supinierter Stellung, so daß allein der Biceps die Hauptarbeit zu leisten hatte. Die Registrierung der Ströme erfolgte mit 2 Saitengalvanometern gleichzeitig von einer lateralen und einer medialen Partie des Biceps bei einem Abstand der Ableitungskreise von 15—20 mm. Als Kontrolle wurden zunächst die Ströme einer Muskelpartie in beide Galvanometer geleitet, so daß die Saiten vollkommen gleich gespannt werden konnten. Dann wurde in einem Vorversuch festgestellt, bei welcher Höhe der Belastung unermüdet noch keine Übereinstimmung der Ströme vorhanden war. Dieses Gewicht, welches ungefähr 2—3 kg betrug und bei schwachen Vp. entsprechend niedriger gewählt werden mußte, fand dann im eigentlichen Ermüdungsversuch Verwendung.

Dabei ergab sich tatsächlich, daß mit zunehmender Ermüdung zunächst einzelne Stromgruppen in beiden Kurven übereinstimmten, bis schließlich bei maximaler Ermüdung, bei der das Gewicht gerade noch getragen werden konnte, beide Muskelpartien vollkommen übereinstimmende Aktionsstrombilder lieferten. *Bei fortgesetzter willkürlicher Haltung tritt demnach mit zunehmender Ermüdung ein fortschreitendes Synchronwerden der Tätigkeit bzw. Innervation der einzelnen Faserbündel des Muskels ein.*

Was nun weiterhin die Beziehungen zur Amplitudenvergrößerung anbetrifft, so ging in manchen Fällen dieses Synchronwerden der Einzelströme tatsächlich mit einer Amplitudenvergrößerung parallel. In anderen Fällen dagegen wurden die Ströme schon vor dem Beginn einer synchronen Tätigkeit stärker, oder die Stromvergrößerung blieb trotz vollkommenen Synchronwerdens vollständig aus. Letzteres schien besonders bei kräftigen Vp. der Fall zu sein, bei denen die subjektive Ermüdung langsamer und später einsetzte als bei schwächeren. Mithin muß auch das zunehmende Synchronwerden der Einzeltätigkeiten als Ursache für die Stromverstärkung ausgeschlossen werden.

b) Es bleibt nach allem nur noch übrig, die beobachtete Amplitudenerhöhung auf eine *Verstärkung der Kontraktion des Muskels selbst* zurückzuführen. Prüft man diese Möglichkeit eingehender, so ergibt sich folgendes:

Da die Belastung des Gliedes konstant bleibt, so müßte der Effekt einer weiteren Anspannung des Muskels auf etwa das Doppelte der sein, daß aus der Haltung eine Bewegung würde, wenn nicht Gegenkräfte auftreten, die eine Bewegung des Unterarmes bei Verstärkung der Kontraktion während der Ermüdung verhinderten. Es liegt nahe, anzunehmen, daß diese Gegenkräfte im Antagonisten auftreten, indem dieser bei starker Ermüdung durch Irradiation des Impulses mitinnerviert wird, so daß der Agonist jetzt außer dem Gewicht noch den Gegenzug des Antagonisten zu überwinden hat und so seine Kon-

traktion verstärken kann, ohne daß eine Bewegung ausgeführt wird, bzw. verstärken muß, um die Haltung überhaupt aufrechtzuerhalten.

Die Richtigkeit dieser Deutung wurde nun experimentell untersucht. Dabei konnte zunächst schon durch die bloße Betastung der Muskeln festgestellt werden, daß wirklich eine Kontraktion des Antagonisten mit eintretender Ermüdung einsetzt. Um die etwaigen Zusammenhänge zwischen Amplitudenerhöhung und Antagonisteninnervation exakt zu untersuchen, wurden dann Versuche mit gleichzeitiger Ableitung vom Agonisten und Antagonisten ausgeführt. Dazu wurden außer dem Biceps und Triceps auch der Deltoideus und Pectoralis herangezogen, wobei der Deltoideus in der Weise zur Ermüdung gebracht wurde, daß der seitwärts horizontal ausgestreckte Arm, um eine intensive Muskelanspannung und dementsprechend rasche Ermüdung zu erzielen, noch durch das Anhängen von Gewichten am Handgelenk belastet wurde. Dabei zeigte es sich, daß im Beginn des Versuches der Pectoralis vollkommen schlaff bzw. stromlos war. Wenn nach wenigen Minuten die subjektive Ermüdung erheblich geworden war, traten im Pectoralis Ströme auf, deren Beginn in jedem Falle zeitlich exakt mit dem Beginn der Amplitudenvergrößerung im Agonisten zusammenfiel. Auch weiterhin ging dann der Aktionsstromverstärkung des ermüdeten Muskels eine entsprechende Verstärkung der Ströme des Antagonisten parallel. Die Richtigkeit der Erklärung ergibt sich ferner noch daraus, daß beim Seitwärtshalten des Armes ohne Belastung die Antagonisteninnervation häufig ausblieb und dementsprechend dann auch im Agonisten keine Amplitudenerhöhung auftrat. Im Gegenteil sahen wir in Übereinstimmung mit *Altenburger* in diesen Fällen von langsam einsetzender Ermüdung sogar eine Abnahme der Amplitude, auf deren Ursache nachher noch einzugehen sein wird.

Dieses Ausbleiben der Antagonisteninnervation bei allmählich einsetzender Ermüdung zeigt, daß die Ermüdung als solche nicht die Irradiation des Innervationsimpulses bedingt. Die direkte Ursache hierfür ist wohl in der äußersten Anstrengung zu suchen, die zur Überwindung rapide eintretender Ermüdung erforderlich ist.

Daß sich das tatsächlich so verhält, ergibt sich daraus, daß schon beim völlig unermüdeten Muskel ganz der gleiche Erscheinungskomplex beobachtet werden kann, nämlich beim Halten schwerer, nur mit äußerster Anstrengung zu tragender Gewichte. Wie früher beschrieben[1], nimmt die Amplitude beim Tragen immer größer werdender Gewichte zuerst diesen entsprechend zu. Bei hohen, nur noch mit äußerster Kraftentfaltung getragenen Gewichten steigt aber die Amplitude weit stärker als diesen Gewichten entsprechend an. Diese Versuche wurden nun noch einmal wiederholt, indem gleichzeitig noch vom Antagonisten

[1] *Haas*, Ebenda S. 654.

abgeleitet wurde. Hierbei ergab sich, daß ganz genau so wie bei der Ermüdung das starke Anwachsen der Agonistenströme mit dem Auftreten von Strömen im Antagonisten zusammenfiel. Das unverhältnismäßig starke Größerwerden der Agonistenströme erklärt sich demnach genau so wie bei schwerer Ermüdung dadurch, daß infolge der starken Anstrengung die Innervation unzweckmäßigerweise auf den Antagonisten irradiiert und hierdurch den Agonisten zu stärkerer Anspannung zwingt, als zum Tragen des Gewichtes allein erforderlich wäre. Dies steht in guter Übereinstimmung mit der von *Atzler* und Mitarbeitern[1] gemachten Beobachtung, daß der Gaswechsel beim Tragen verschieden schwerer Gewichte zunächst diesen proportional ansteigt, von einem gewissen Punkte an aber plötzlich stärker als der Belastung entsprechend. Sie haben dies auch schon auf ein Übergreifen der Innervation auf andere Muskeln zurückgeführt, eine Auffassung, welche durch die vorliegenden Experimente bestätigt wird. Auch daß die Verstärkung der Ströme im Agonisten bzw. die Irradiation der Innervation auf den Antagonisten bei kräftigen Personen später auftritt als bei schwächeren, steht in guter Übereinstimmung mit entsprechenden Befunden *Atzlers* am Gaswechsel. Daraus ergibt sich, daß die früher oder später beginnende Antagonisteninnervation bzw. Amplitudenvergrößerung im Agonisten als Maßstab für die Leistungsfähigkeit der betreffenden Person angesehen werden darf.

b) Verkleinerung der Aktionsströme bei allmählich eintretender Ermüdung.

Wie schon hervorgehoben, tritt eine Vergrößerung der Aktionsströme nur bei rapider Ermüdung durch sehr starke Beanspruchung ein, während bei allmählicher Ermüdung umgekehrt eine Verkleinerung der Ströme bis nahe zum Verschwinden zu beobachten ist (*Altenburger*). Auch wir konnten beides, und zwar bei derselben Vp. feststellen, je nachdem, ob das zu haltende Glied noch durch ein starkes Gewicht beschwert worden war oder nicht; dazwischen auch alle Übergänge, z. B. daß beim Tragen mäßig schwerer Gewichte bis zur völligen Ermüdung die Aktionsströme weder größer noch kleiner wurden.

Zur Erklärung des Kleinerwerdens der Aktionsströme bei offenbar gleichbleibender Muskelanspannung wurden keine besonderen experimentellen Untersuchungen ausgeführt. Es sei aber hier auf folgende Erklärungsmöglichkeit hingewiesen. *Andrus*[2] konnte kürzlich am isolierten Streifen aus dem Vorhof des Säugetierherzens zeigen, daß die Größe des Aktionsstromes von der H-Ionenkonzentration der umgebenden Flüssigkeit abhängig ist, und zwar daß sie mit zunehmender Säuerung abnimmt. In der Gegend des isoelektrischen Punktes sah er

[1] *Atzler*, Handbuch d. Arbeitsphysiol. *Thieme*, Leipzig 1927, S. 189, S. 444 ff.
[2] *Andrus*, zit. nach *Fulton*, Muscular contraction S. 230.

schließlich den Aktionsstrom völlig verschwinden. Es liegt nahe, anzunehmen, daß auch das Kleinerwerden der Aktionsströme bei langdauernder willkürlicher Kontraktion auf der ja sicherstehenden allmählichen Ansammlung saurer Stoffwechselprodukte mit zunehmender Ermüdung beruht. Dazu paßt auch das langsame Wiederverschwinden des Ermüdungsgefühles in diesem Falle, sowie daß dieses bei einer Wiederholung der Kontraktion sehr viel früher auftritt als beim vorhergehenden Versuch.

Warum tritt aber dann die Verkleinerung der Aktionsströme nicht auch bei rascher Ermüdung durch starke Muskelbeanspruchung ein? Man kann wohl annehmen, daß in diesem Falle die Zeit zu kurz ist, als daß es zu einer wesentlichen Ansammlung von Ermüdungsprodukten kommen kann, was gleichbedeutend damit ist, daß die rasche Ermüdung bei starker Muskelanspannung durch ganz andere Faktoren bedingt ist als die allmähliche Ermüdung bei relativ geringer Beanspruchung. Dafür, daß dies in der Tat so ist, läßt sich folgendes anführen:

Wie eben betont, dauert es bei allmählicher Ermüdung sehr lange, bis deren Folgen wieder völlig verschwunden sind und die gleiche Arbeitsleistung wiederholt werden kann. Im Gegensatz dazu genügt bei rascher Ermüdung durch starke Beanspruchung, auch wenn sie bis zum äußersten durchgeführt worden ist, eine Ruhepause von wenigen Minuten, um das Gewicht von neuem annähernd dieselbe Zeit halten zu können; was mehrmals wiederholt werden kann. D. h. kurze Ruhepausen genügen in diesem Falle, daß subjektive und objektive Ermüdungserscheinungen immer wieder zu annähernd derselben Zeit auftreten.

Ferner ist typisch, daß die subjektiv empfundene Ermüdung in beiden Fällen einen ganz verschiedenen Charakter hat. Bei der langsamen Ermüdung ist es ein dumpfes, diffuses, schlecht auf bestimmte Muskeln lokalisierbares Gefühl, etwa wie ein starker Muskelkater, dem zugleich ein gewisses Gefühl der Erschöpfung beigemischt ist. Im anderen Falle ist es ein genau lokalisierbarer intensiver Schmerz in dem betreffenden Muskel, der, ohne daß man sich erschöpft fühlt, die Aufgabe der Kontraktion erzwingt. Ermüdungsgefühl und Ermüdungsschmerz sind demnach etwas scharf Unterscheidbares. Dies zeigte sich in einem Hypnoseversuch, über den an anderer Stelle näher zu berichten sein wird, bei dem das subjektive Ermüdungsgefühl ausgeschaltet werden sollte. Hier ergab das posthypnotische Ausfragen, daß die betreffende Person zwar keine Ermüdung verspürt hatte, wohl aber ein Schmerzgefühl, das sie zwang, die Kontraktion aufzugeben. Wir hatten ihr wohl die Ermüdung wegsuggeriert, dagegen es versäumt, dies auch für den Ermüdungsschmerz zu tun.

Was ist aber nun dieser Ermüdungsschmerz? Wir möchten annehmen, daß es sich hierbei um die gleichen sensiblen Reizerschei-

nungen handelt, wie sie mit jeder kräftigen Muskelanspannung verbunden sind (z. B. Wadenkrampf) und sich, wenn diese einige Zeit andauern, zum unerträglichen Schmerz steigern. Jedenfalls erklärt sich so die Möglichkeit, die Kontraktion bald nach dem Abklingen der Reizerscheinungen wiederholen zu können.

II. Das Verhältnis zwischen subjektiver und objektiver Ermüdung.

Diese eben hervorgehobene Möglichkeit, zugleich mit der Tatsache, daß die Vp. wenn sie nicht besonders beeinflußt wurden, bei diesen Wiederholungen im allgemeinen das Halten des beschwerten Gliedes gleich lang auszuhalten pflegten, eröffnet die Möglichkeit, zu prüfen, ob zwischen subjektiver und objektiver Ermüdung ein fester Zusammenhang festzustellen ist oder nicht. Um dieses zu untersuchen, wurde bei weiblichen Vp. die subjektive Ermüdung durch Suggestion in ihrem Eintreten verzögert oder früher als es normal der Fall gewesen wäre, herbeigeführt und geprüft, ob dadurch auch das zeitliche Eintreten der objektiven Ermüdungserscheinung (Vergrößerung der Aktionsstromamplitude) beeinflußt wurde oder nicht. Im einzelnen wurden dabei immer je 3 Versuche unternommen. Im ersten war die Vp. angewiesen, den seitwärts ausgestreckten Arm solange wie möglich zu halten. Nach einer längeren Ruhepause kam der zweite Versuch, in dem die Vp. einige Kubikzentimeter Kochsalzlösung zu trinken bekam unter der Suggestion, daß dies ein Hypnoticum sei, welches besonders auf die Muskeln eine lähmende Wirkung ausübe. Im 3. Versuch erhielt sie die entgegengesetzte Suggestion. Der Erfolg war nun folgender: War die Vp. imstande, normalerweise den Arm 8 Minuten zu halten, so hielt sie ihn während der Suggestion auf Baldeinsetzen der Ermüdung nur die knappe halbe Zeit, und im 3. Falle wiederum doppelt solange, als es normalerweise der Fall war. Die Aktionsstrombilder ergaben dabei, daß die Amplitudenerhöhung in jedem der 3 Versuche zu demselben Zeitpunkt aufzutreten begann, unabhängig davon, ob die subjektive Ermüdung schon vorhanden war oder nicht. So konnte beim 2. Versuch, in dem durch die Suggestion die subjektive Ermüdung frühzeitig herbeigeführt wurde, der Arm nicht mehr länger gehalten werden, trotzdem zu dieser Zeit die objektiven Ermüdungserscheinungen eben erst aufzutreten begannen. Wurde die subjektive Ermüdung wegsuggeriert, so konnte dagegen noch ausgehalten werden, wenn der Amplitudenanstieg schon lange seinen Höhepunkt erreicht hatte. *Das Eintreten der Amplitudenvergrößerung der Aktionsströme als objektive Ermüdungserscheinung erwies sich demnach als trennbar von der subjektiven Ermüdung.*

Wohlgemerkt beweisen dies die vorliegenden Untersuchungen, jedoch nur für relativ rasch einsetzende Ermüdung durch starke Be-

lastung des Muskels, also für den Fall, daß die subjektive „Ermüdung" wesentlich nur ein durch sensible Reizerscheinungen bedingter Schmerz ist. Für den anderen Fall der allmählichen Ermüdung und des damit verbundenen eigentlichen Ermüdungsgefühles liegen die Möglichkeiten exakter experimenteller Prüfung wegen des langsamen Abklingens der Erscheinungen leider nicht so günstig. Wir müssen es vorläufig noch dahingestellt sein lassen, ob die gefundene Trennbarkeit von subjektiver und objektiver Ermüdung auch hierfür gilt oder nicht. Die bekannte Erfahrung, daß unter den verschiedensten physiologischen Verhältnissen (z. B. in Fabrikbetrieben, je nach der Stimmung der Arbeiter) wie auch im Vergleich zu pathologischen Verhältnissen (z. B. zur Katatonie, Hypnose usw.) dieselbe Arbeitsleistung unter ganz verschieden starkem Ermüdungsgefühl ausgeführt werden kann, spricht allerdings für die Trennbarkeit auch in diesem Fall.

Zusammenfassung.

1. Bei willkürlichen Kontraktionen (Aufrechterhaltung einer Gliedstellung unter mehr oder weniger starker Belastung) sind 2 verschiedene Arten der Ermüdung zu unterscheiden, je nachdem, ob diese infolge starker Beanspruchung sehr rasch erfolgt oder bei geringer Beanspruchung nur ganz allmählich.

Im 1. Fall sieht man nach einiger Zeit eine Verstärkung der Aktionsströme auftreten (*Cobb* und *Forbes*). Diese erklärt sich dadurch, daß die Innervation infolge der starken Anstrengung auf den Antagonisten irradiiert und hierdurch den Agonisten zu stärkerer Anspannung zwingt als zum Tragen des Gewichtes allein erforderlich ist. Im 2. Fall nimmt die Amplitude der Aktionsströme allmählich ab, was mit der Ansammlung saurer Ermüdungsprodukte in Zusammenhang gebracht wird.

2. Mittels Zweifachableitung von verschiedenen Teilen des Muskels wird gezeigt, daß mit zunehmender Ermüdung ein fortschreitendes Synchronwerden der Tätigkeit bzw. Innervation der einzelnen Faserbündel des Muskels eintritt.

3. Es werden Gründe dafür angeführt, daß subjektiv zwischen dem Ermüdungsschmerz und dem eigentlichen Ermüdungsgefühl zu unterscheiden ist. Der Ermüdungsschmerz überwiegt in dem obengenannten 1. Fall, das Ermüdungsgefühl im 2. Fall.

4. Durch entsprechende Suggestion lassen sich das Eintreten der Aktionsstromvergrößerung als objektive und das Eintreten des Ermüdungsschmerzes als subjektive Ermüdungserscheinung zeitlich voneinander trennen.

Vorliegende Arbeit wurde auf Veranlassung von Herrn Priv.-Doz. *Wachholder* unternommen.

Lebenslauf

Ich, Erwin Haas, bin am 4. Januar 1903 als Sohn des Spediteurs Albert Haas und dessen Ehefrau Olga, geb. Rosenthal, in Oderberg geboren. Nach Absolvierung der Deutschen Knabenvolksschule besuchte ich daselbst das Deutsche Staats-Reform-Realgymnasium und legte am 23. Juni 1922 die Reifeprüfung ab. Am 21. November 1922 wurde ich an der Friedrich-Wilhelm-Universität in Breslau immatrikuliert, studierte 10 Semester und bestand am 19. März 1928 das medizinische Staatsexamen. Vom 15. April 1928 bis 15. Dezember 1928 war ich in der Psychiatrischen und Nervenklinik der Universität Breslau als Medizinalpraktikant tätig und bin jetzt Medizinalpraktikant in der Medizinischen Universitäts-Poliklinik.

Ich bin preußischer Staatsangehöriger.